

文章编号: 1001-3806(2016)03-0388-04

## 狭缝光栅立体显示光栅倾斜角度理论分析

许 国<sup>1,2</sup>, 侯春萍<sup>1\*</sup>, 沈丽丽<sup>1</sup>

(1. 天津大学 电子信息工程学院, 天津 300072; 2. 天津科技大学 电子信息与自动化学院, 天津 300222)

**摘要:** 为了定量研究光栅倾斜角度和串扰之间的关系, 进而寻求适合的最佳倾斜角度, 利用光路方程建立了串扰与光栅倾斜角度的仿真模型, 同时对屏前3维空间内的水平方向和垂直方向的串扰进行了仿真。结果表明, 光栅倾斜角度增加时, 水平视区呈线性下降, 而垂直方向视区变化趋势并非线性减少, 而是呈阶梯状降低, 对这种现象进行了合理的理论解释, 得到了光栅倾斜角度和串扰之间的定量关系。该研究结果对设计倾斜光栅式自由立体显示器具有指导意义。

**关键词:** 光栅; 阶梯状降低; 仿真; 串扰**中图分类号:** TN253 **文献标志码:** A **doi:**10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2016.03.018

### Theoretical analysis of tilt angles based on autostereoscopic display with slanted barrier

XU Guo<sup>1,2</sup>, HOU Chunping<sup>1</sup>, SHEN Lili<sup>1</sup>

(1. School of Electronic Information Engineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China; 2. School of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science &amp; Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** In order to study the relationship between tilted angles of parallax barriers and crosstalk quantitatively and seek for the best tilted angle, a simulation model for crosstalk and tilted angles was established based on the optical path equation. Meanwhile crosstalk in front of the screen was simulated in vertical and horizontal directions respectively. The results show that the viewing zone in horizontal direction decreases linearly, however the viewing zone in vertical direction is not in the same case but decreases step by step. Theoretical explanation of the phenomenon was put forward and the quantitative relationship between tilted angle of parallax barrier and crosstalk was obtained. The study would provide a significant guidance for auto-stereoscopic display based on slanted parallax barrier.

**Key words:** gratings; reduction stepped; simulation; crosstalk

## 引 言

立体信息技术有着非常广泛的应用前景, 可以用于科研、军事、教育、工业、医疗、体育、娱乐等诸多领域, 已成为国家和社会发展战略中需要重点突破的科学技术问题。其中, 自由立体显示系统不需要佩戴额外的辅助设备就可以让观看者欣赏到立体效果<sup>[1]</sup>。立体效果的感知是一个复杂的过程, 需要依靠双目视差配合上人的知识经历、视觉经验和心情等综合因素, 共同处理后形成基于双目视差的立体视觉<sup>[2]</sup>。目前, 市场已有多款基于双目视差原理的自由立体显示系

统<sup>[3]</sup>。所谓双目视差, 简单来说, 就是当两眼观看同一物体时, 由于双眼视角略有差别, 导致在视网膜的成像位置不尽相同, 这种视觉差异称为双目视差。在这些系统中, 基于狭缝光栅的自由立体显示器由于其结构简单、成本低廉, 因此发展较快。

在基于狭缝光栅的立体显示技术中, 一般情况下, 狭缝光栅栅距近似等于显示器像素点距的整数倍, 极易形成明显的莫尔条纹, 会严重影响观看效果<sup>[4]</sup>。为减轻莫尔条纹的影响, 并平衡立体图像分辨率在水平方向的损失, 常将竖直排列的狭缝改为倾斜排列, 这种改变会影响视点间的串扰分布情况<sup>[5]</sup>。目前市场上已有多款倾斜狭缝光栅自由立体显示器<sup>[6-8]</sup>, 但光栅的倾斜角度多数是由经验或者反复实验获得, 且只能在系统设计完成后通过实际测量确定其串扰和视区分布情况, 如果不能满足设计要求, 还需要重新研究和制作, 所花费的成本和时间都是巨大的。为此, 本文将建立仿真模型研究串扰与光栅倾斜角度的关系, 为自由立体显示系统的优化设计与实现奠定仿真基础。

基金项目: 国家八六三高技术研究发展计划资助项目(2012AA03A301); 国家自然科学基金资助项目(60932007; 61202380)

作者简介: 许 国(1981-), 男, 博士研究生, 现主要从事立体信息显示和新型光栅设计的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: hcp@tju.edu.cn

收稿日期: 2015-03-06; 收到修改稿日期: 2015-03-30

### 1 狭缝光栅立体显示器的基本结构

狭缝光栅又被称为“黑光栅”,是指在透明胶片上规律性的印刷黑色不透明线条,每两个黑色线条间隔的固定宽度的透明缝隙。不透明的黑色线条和透明线条共同控制了来自于平面显示器像素的光路,实际上起到了分光器件的作用,在屏前空间将左右眼图像的光线进行了分离<sup>[9-10]</sup>。

一般来说,市场上基于狭缝光栅的自由立体显示器可以分为两类:狭缝前置式和狭缝后置式。这种分类是依据狭缝光栅和显示器的相对位置进行划分的,图1是这两种自由立体显示器的结构图。

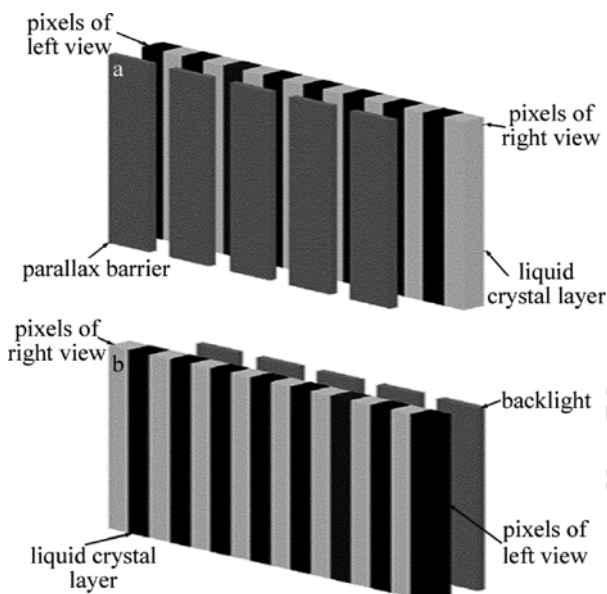


Fig. 1 Structure diagram of liquid crystal display autostereoscopic display based on parallax barrier<sup>[11]</sup>  
a—front-mounted barrier b—rear-mounted barrier

图1a为狭缝前置式的显示结构,在这种结构中狭缝光栅被放置于液晶屏前,由于黑色线条的遮挡作用,所以人眼只能通过透明线条观看视图。当用户处于适当的位置时,就能看到相应的左右眼图像,引发立体视觉<sup>[12]</sup>。类似的,在图1b所示的狭缝后置式的结构中,是将液晶屏置于狭缝光栅前,而来自显示器的背光源发出互相平行的狭缝光,同样可以在屏前空间形成合适的观看区域,引发用户的立体视觉。

将狭缝光栅倾斜放置后,虽然减轻了莫尔条纹的影响,立体图像分辨率在水平方向和垂直方向上得到了平衡<sup>[13]</sup>,但这种倾斜放置的结构会改变视点间的串扰分布情况。接下来,本文中针对图2所示的倾斜光栅定量研究串扰与光栅倾斜角度的关系。图2中, $W$ 为狭缝光栅栅距, $a$ 指光栅栅距不透明部分宽度, $b$ 指光栅栅距透明部分宽度, $\alpha$ 是狭缝光栅倾斜角度。

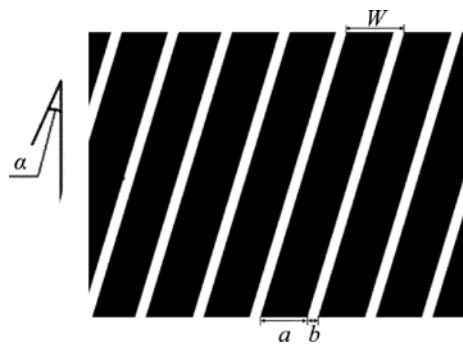


Fig. 2 Sketch map of the slanted barrier

### 2 倾斜光栅串扰建模分析

假设屏前空间任意一点  $P$  坐标为  $(x_0, y_0, z_0)$ , 其中  $y_0$  固定,为显示器中心高度。为了方便分析,如无特别说明,以下点坐标和公式均略去  $y_0$ 。点  $P(x_0, z_0)$ , 透过任意一个狭缝单元  $m$ , 其光路与显示器平面的交点为:

$$\begin{cases} x_n = x_0 - z_0 \frac{(m-1)W + a - htan\alpha - x_0}{d - z_0} \\ x_{n+1} = x_0 - z_0 \frac{m \times W - x_0}{d - x_0} \end{cases}, \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

当间距一定时有:

$$\Delta x = x_{n+1} - x_n = \frac{z_0}{z_0 - d} (b + htan\alpha) \approx b + htan\alpha \quad (2)$$

式中, $d$ 是光栅与显示器屏幕之间的距离, $h$ 为像素垂直高度。

狭缝光栅自由立体显示器在屏前空间内理论上只存在有限的“sweet spots”<sup>[14]</sup>,其余区域均受到串扰影响,为了便于分析倾斜角度对串扰的影响,考虑到显示器相邻像素间存在一段不发光的区域(black matrix region),由于这个区域的存在,此时无论在水平方向还是垂直方向上都会出现无串扰区域。设这段区域长度为  $L$ ,为了使视点间的图像无串扰,需要保证从空间中一点透过狭缝单元只能看到某一个视点所属的像素,不能同时看到两个及两个以上视点所属像素,即必须满足  $\Delta x < d_p + 2L$  时,即有:

$$\alpha < \arctan\left(\frac{d_p + 2L - b}{h}\right) \quad (3)$$

式中, $d_p$ 为像素点间距。(3)式给出了光栅倾斜角度的理论上限值。后续的仿真结果表明,倾斜角度一旦超过了这个上限值,将不存在任何无串扰视区。

### 3 仿真实验与结果讨论

根据(3)式,利用表1中给出的仿真参量,可以计

算出倾斜角度的上限值为  $22.17^\circ$ 。图 3 是不同串扰度下倾斜角度与视区范围关系的仿真结果。

Table 1 Parameters for autostereoscopic display with slanted barrier

parameters	simulation values
number of view	3
resolution	1366 × 768
pixel pitch	0.229mm
black matrix region	0.075mm
distance between LCD screen and barrier	8mm
slit width	0.3075mm
pitch	0.9225mm
best view distance	1460mm

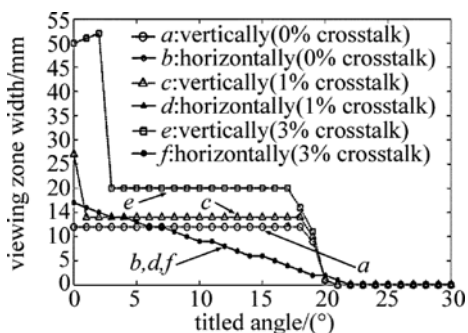


Fig. 3 Relationship between a slanting angle of barrier and viewing zone with different crosstalk values

从图 3 可以看出,在倾斜角度相同的情况下,随着串扰度的增加,水平视区范围几乎不发生变化,而垂直视区范围却有所增加。这个现象可以用菱形立体视区分布来解释。根据参考文献[15],自由立体显示的视区在空间呈现为菱形分布,具体来说,在水平方向上,串扰度增加非常快,由串扰度为 0 的“sweet spots”出发,观测者水平偏移一小段距离,串扰度就会达到较高的值;在垂直方向上,串扰度增加较慢,由串扰度为 0 的“sweet spots”出发,观测者偏移较长的一段距离串扰度仍然可以维持在较低的值。这样,就使当串扰度较低时,实际上对水平视区几乎没有影响,但可以增加一些垂直视区。在实际应用中,可以发现当观测者沿着水平方向移动时,稍微偏离最佳视点即可看到明显的串扰图像,而沿着垂直方向移动时,则在相当一段距离内感觉不到明显的串扰图像。这种现象与图 3 中的仿真结果是一致的。

随着倾斜角度的不断增加,由于视点间的串扰不断增加,水平和垂直视区可视视区不断减小。可以近似认为当倾斜角度增加时水平视区呈线性下降。但垂直方向视区变化趋势并非线性减少而是呈阶梯状降低。这说明,随着倾斜角度的增加垂直视区在一定范围内可以维持不变,从图 2 可以看出,当光栅倾斜角度在  $(2^\circ \sim 18^\circ)$  时,垂直视区基本不发生变化。究其原

因,是因为随着光栅的倾斜,沿着水平方向的位置点将看到更多的视点所属像素,这样就导致水平串扰度不断增加,水平视区宽度范围降低。而观看者沿着垂直方向远离显示器运动时,透过任一狭缝与显示器平面的节距略小于像素点距,使观看者避免同时看到两个视点所属的像素,这个差值抵消了一些光栅倾斜带来的串扰增加,但当光栅倾斜角度增加到一定值后,由于倾斜使得更多的视点所属像素可以在原有视区中被看到,这个差值不足以抵消光栅倾斜带来的影响,于是就出现了阶梯状下降的仿真曲线。

当倾斜角度达到  $21.8^\circ$  后,则不存在水平无串扰视区。垂直视区当倾斜角度达到  $20.3^\circ$  时,同样不再存在无串扰视区,仿真结果与 (3) 式给出的结论基本一致,从而进一步验证了 (3) 式的正确性。

## 4 结 论

针对基于倾斜狭缝光栅的自由立体显示器,本文中建立仿真模型研究串扰、视区与光栅倾斜角度的关系,从串扰角度分析了倾斜角度的取值范围,推导给出了光栅倾斜角度的理论上限值。通过对屏前 3 维空间内的水平方向和垂直方向的视区进行仿真,发现光栅倾斜角度增加时水平视区呈线性下降,而垂直方向视区变化趋势并非线性减少而是呈阶梯状降低,对这种现象进行了合理的理论解释。该研究工作对于自由立体显示系统的优化设计与实现奠定了仿真基础。

### 参 考 文 献

- [1] CHANG Y C, JIN T H, TING C H, *et al.* High-resistance liquid-crystal lens array for rotatable 2-D/3-D autostereoscopic display [J]. *Optics Express*, 2014, 22(3): 2714-2724.
- [2] FLEET D J, WAGNER H, HEEGER D J. Neural encoding of binocular disparity: energy models, position shifts and phase shifts [J]. *Vision Research*, 1996, 36(12): 1839-1857.
- [3] WANG Q H, LI X Z. 3-D image construction based on self-calibration binocular vision algorithm [J]. *Laser Technology*, 2012, 36(3): 416-420 (in Chinese).
- [4] SAHELJEV V V. Characteristics of Moiré spectra in autostereoscopic three-dimensional displays [J]. *Journal of Display Technology*, 2011, 7(5): 259-266.
- [5] HOLLIMAN N S, DODGSON N A, FAVALORA G E, *et al.* Three-dimensional displays: a review and applications analysis [J]. *IEEE Transactions on Broadcasting*, 2011, 57(2): 362-371.
- [6] LEE K H, CHOE Y S, LEE D K, *et al.* Expanding the degree of freedom of observation on depth-direction by the triple-separated slanted parallax barrier in autostereoscopic 3-D display [J]. *Proceedings of the SPIE*, 2013, 8738: 87380D.
- [7] PAN C, YANG Q, XING L, *et al.* New image fusion algorithm for auto-stereoscopic display [J]. *Proceedings of the SPIE*, 2013, 8913: 89130L.
- [8] DODGSON N A. Autostereoscopic 3-D displays [J]. *Computer*, 2005 (8): 31-36.

- [9] SHA L, SCHONFELD D, LI Q. Parallax multi-viewer autostereoscopic three-dimensional display [J]. Proceedings of the SPIE, 2014, 9011:90111M.
- [10] JUNG S M, KANG I B. Three-dimensional modeling of light rays on the surface of a slanted lenticular array for autostereoscopic displays [J]. Applied Optics, 2013, 52(23): 5591-5599.
- [11] CHINA VIDEO INDUSTRY ASSOCIATION. Learn about 3-D technology [M]. Beijing: Posts and Telecom Press, 2013: 58-62 (in Chinese).
- [12] PERLIN K, POULTNEY C, KOLLIN J S, *et al.* Recent advances in the NYU autostereoscopic display [J]. Proceedings of the SPIE, 2001, 4297:196-203.
- [13] FRONER B. Stereoscopic 3-D technologies for accurate depth tasks: a theoretical and empirical study [D]. Durham, UK: Durham University, 2011:30-35.
- [14] BOEV A, BREGOVIC R, GOTCHEV A. Signal processing for stereoscopic and multi-view 3-D displays [M]. New York, USA: Springer, 2013: 3-47.
- [15] KIM M C, HWANG Y S, HONG S P, *et al.* Design of extended viewing zone at autostereoscopic 3-D display based on diffusing optical element [J]. Proceedings of the SPIE, 2012, 8288:2978-2982.

版权所有 © 《激光技术》编辑部

版权所有 ©